

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 7 月 31 日 (31.07.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/062899 A1(51) 国際特許分類⁷: G02B 26/08, B81B 3/00, H04B 10/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/00401

(22) 国際出願日: 2003 年 1 月 20 日 (20.01.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-011342 2002 年 1 月 21 日 (21.01.2002) JP
特願2002-118900 2002 年 4 月 22 日 (22.04.2002) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電
器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUS-
TRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市
大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 横山 和
夫 (YOKOYAMA, Kazuo) [JP/JP]; 〒573-0171 大阪府 枚方市 北山 1-3 0-7 Osaka (JP). 浅井 勝彦
(ASAI, Katsuhiko) [JP/JP]; 〒630-8115 奈良県 奈良
市 大宮町 4-2 3 5-1-3 0 2 Nara (JP). 入江 庸
介 (IRIE, Yousuke) [JP/JP]; 〒631-0021 奈良県 奈良
市 鶴舞東町 1-4 4-4 0 5 Nara (JP). 青木 新一郎
(AOKI, Shinichiro) [JP/JP]; 〒227-0047 神奈川県 横
浜市 青葉区みたけ台 3 4-1 0 5 Kanagawa (JP). 野
村 幸治 (NOMURA, Kouji) [JP/JP]; 〒575-0013 大阪
府 四条畷市 田原台 2-3 7-8 Osaka (JP). 森仲 克也
(MORINAKA, Katuya) [JP/JP]; 〒573-0151 大阪府 枚
方市 藤阪北町 1-1 1 Osaka (JP).(74) 代理人: 青山 葆, 外 (AOYAMA, Tamotsu et al.); 〒
540-0001 大阪府 大阪市 中央区城見 1 丁目 3 番 7 号
1 M P ビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

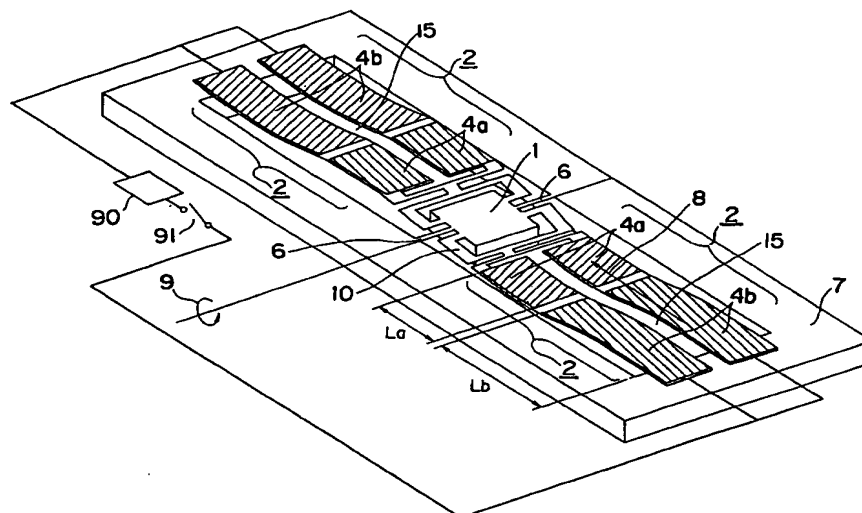
(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, SI, SK, TR).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL SWITCH AND PRODUCTION METHOD THEREFOR, INFORMATION TRANSMISSION DEVICE US-
ING IT

(54) 発明の名称: 光スイッチ及びその製造方法、それを用いた情報伝送装置



(57) Abstract: A mirror element (1) and piezoelectric elements (2) each comprising a thin-film piezoelectric piece (3), electrodes (4a, 4b, 4c) and an elastic piece (5) are formed on a substrate (7) to allow voltage applied to electrodes to warp and deform the thin-film piezoelectric piece and hence drive the mirror element. A plurality of piezoelectric elements are disposed in parallel in their longitudinal direction (8), a torsion spring (6) is provided in a direction orthogonal to the longitudinal direction, and the mirror element is connected to the substrate for retaining. In addition, the mirror element is connected to piezoelectric elements via a strain absorbing unit (10). Accordingly, the mirror element is tilted around the torsion spring serving as a rotation axis (9).

[続葉有]



添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

ミラー素子（１）、及び薄膜圧電体（３）、電極（４ a, ４ b, ４ c）、弾性体５よりなる圧電素子（２）が基板（７）上に構成され、電極に電圧を印加することにより薄膜圧電体がたわみ変形し、ミラー素子を駆動する。圧電素子はその長手方向（８）に平行に複数配置され、この長手方向と直交した方向にトーションバネ（６）を設け、ミラー素子を基板に連結して保持する。さらに、ミラー素子は圧電素子とはひずみ吸収部（１０）で連結する。このような構成により、トーションバネを回転軸（９）としてミラー素子がこの回転軸まわりに傾斜される。

明 細 書

光スイッチ及びその製造方法、それを用いた情報伝送装置

5 技術分野

本発明は、光スイッチ及びその製造方法、それを用いた情報伝送装置に関し、特に、ミラー素子を駆動するアクチュエータを備えた光スイッチ及びそれを用いた情報伝送装置に関する。

10 背景技術

近年、光を用いた情報伝達装置は、波長分割多重などの伝送高速化技術の発達とともに、インターネットのブロードバンド化を実現し、高速大容量の情報通信を可能とするための基幹装置となっている。

さらに、光通信網を効率良く接続するため、光信号レベルでの交換機の機能や光アッテネータ機能を持つ各種の光スイッチが不可欠な装置となっている。

これまで、光通信網は特に基幹系を中心に発達してきたが、これから、さらに、地方都市、地域住宅地単位での、より家庭に近い末端においても益々この光スイッチは必要となってくる。

このように、光通信網で光スイッチをさらに広く普及させるには、 -60 dB 程度の挿入損失やスイッチング時間等の基本性能を確保するとともに、従来に増して簡便な構成で安価に製造できる光スイッチが望まれる。

光スイッチの従来例として、「MOEMS 97, Technical Digest (1997, p165~p170)」には、入力信号の光ファイバーを電磁駆動にて出力信号の光ファイバーに切り替える光スイッチが開示されている。

この形式の光スイッチでは、光ファイバー自体の比較的大きな質量を駆動する必要があり、切り替え時間の短縮に限界があると共に、電磁駆動のための大電流を要する、という欠点がある。

同じく、光スイッチの従来例として、「MOEMS 97, Technical Digest (1997, p238~p242)」には、導波路の一部をオイル

で満たし、このオイルを移動させたり、あるいは加熱によりバブルを発生させることにより、光路を切り替える型の光スイッチが開示されている。この形式の光スイッチは、反射界面の反射率を反射界面のオイルの有無により制御することに伴い、相対的に挿入損失が大きいという欠点がある。

5 さらに、「MOEMS 97, Technical Digest (1997, p 233 ~ p 237)」には、静電駆動型のミラーによって光路を切り替える型の光スイッチが開示されている。この形式の光スイッチは、静電駆動のため一般的に高電圧を要し、また、大きい駆動力を得るためにミクロン単位の静電ギャップが必要なため、その製造に高度の微細加工を要するという欠点がある。

10 なお、既報の光スイッチの従来技術文献には、本発明に係わる「薄膜圧電体によって圧電駆動する光スイッチ」は開示されていない。

 前述したごとく、光スイッチをさらに広く普及させるには、挿入損失やスイッチング時間等の基本性能を確保するとともに、駆動電力も減少させることができ、かつ、簡便な構成で安価に製造できる光スイッチを実現することが重要な課題である。また、多数の光伝送路をコンパクトな構成で切り替えることも必要である。

15 そこで、特開 2000-339725 号公報では、図 10 に示すように、基板 121 上に、シリコン板の中央部に正多角形の微少ミラー 122 を配置し、そのミラー 122 の各辺に沿って片持ちばり 123 を配置し、その片持ちばり 123 の一端を固定すると共に他端をミラー 122 の辺の一端に取り付ける一方、片持ちばり 123 の表面又は内部に圧電部材を片持ちばり 123 の長手方向に形成させ、全ての圧電部材へ同一の電圧を印加することによって片持ちばり 123 の先端部が曲がるのを利用してミラー 122 を並進移動させるようにしたものが開示されている。なお、124 は圧電物質である。

20 また、特開 2001-033713 号公報では、図 11 に示すように、光源から発生した光を光に対して基板 101 上で 45 度傾斜していて、その 45 度の方
25 向並進移動するミラー 106 によって反射させ、そのミラー 106 の並進移動はミラー 106 を正方形の支持体 104 に載せ、その支持体 104 の各辺に片持ちばり 103 をその先端部で支持体 104 を支えるように配置し、片持ちばり 103 の表面に 105 圧電体を配置して、圧電体 105 への電圧の印加によって圧電

体 1 0 5 を変位させ、ひいては片持ちばり 1 0 3 を変位させてミラー 1 0 6 を並進移動させるものが開示されている。

しかしながら、上記 2 件のいずれの公報でも、ミラー 1 0 5, 1 2 2 の周囲の 4 個の片持ちばり 1 0 3, 1 2 3 にそれぞれたわみ力が発生し、これらの 4 個のたわみ力のバランスを取ってミラー 1 0 5, 1 2 2 を並進移動させることが困難であり、並進移動制御が不安定なものとなりやすく、また、4 個の片持ちばり 1 0 3, 1 2 3 が点対称に配置されているため 4 個のたわみ力のバランスが崩れるとすぐに回転力が発生してしまう可能性もある。これを極力防止するためには、ミラー 1 0 6, 1 2 2 の中心から数 μ の範囲内に光を入射させる必要があり、ミラー 1 0 6, 1 2 2 の実質的に使用可能な面積が微小であるといった課題もあった。

本発明の目的は、上記課題に鑑み、高速大容量化に伴う光通信網の拡大に対応して、高速、高精度光切り替え可能かつ低電圧低電力駆動で可能とすると共に、装置自体がコンパクトで、製造の容易さを含めて、実用レベルの具体的構成を備えて、切り替え制御が安定して行なえ、かつ、実質的に使用可能な面積が大きい、光スイッチ及びその製造方法、それを用いた情報伝送装置を提供することにある。

発明の開示

本発明は、上記目的を達成するため、以下のように構成している。

本発明の第 1 態様によれば、入射側光伝送路からの光を反射させるミラー素子と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、

上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路へ切り替える光スイッチであって、

上記アクチュエータは、薄膜圧電体と、上記薄膜圧電体を駆動するための電圧を印加する電極と、上記薄膜圧電体と上記電極を有する弾性体とを備える圧電素子により構成され、かつ、上記ミラー素子を挟んで対向する圧電素子の長手方向が並行であり、上記電極に対する電圧印加による上記薄膜圧電体のたわみ変形により、上記ミラー素子を駆動させる光スイッチを提供する。

本発明の第 2 態様によれば、上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体に平行な面に

ミラー面が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体に平行な面より傾斜させる第 1 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 3 態様によれば、上記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、上記長手方向と直交に配置したトーションバネにより上記ミラー素子を保持する構成とすることにより、上記トーションバネを回転軸とした回転方向に上記ミラーを傾斜させる第 2 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 4 態様によれば、上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、（たわみ変形の变形効率を上げるため）上記圧電素子の長手方向の一部に上記長手方向沿いのひずみ吸収部を配置する第 2 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 5 態様によれば、上記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子は複数の電極に分割され、各電極に異なる電圧を印加することにより上記薄膜圧電体を異なった曲率にたわみ変形させる第 1 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 6 態様によれば、上記圧電素子を構成する上記弾性体は、少なくともシリコンオンインシュレータ基板を構成する薄膜シリコン又はシリコン酸化膜を含む第 1 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 7 態様によれば、上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体の法線方向にミラー面が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体の法線方向に駆動する第 1 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 8 態様によれば、上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、（たわみ変形の变形効率を上げるため）上記圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部を構成する第 7 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第 9 態様によれば、上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、（たわみ変形の变形効率を上げるため）上記圧電素子のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ低曲げ剛性部を構成する第 2 又は 7 の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第10態様によれば、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を並行移動させたのち所定の位置に保持するミラー素子保持装置を有する第2又は7の態様に記載の光スイッチを提供する。

5 本発明の第11態様によれば、上記ミラー素子保持装置は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動で上記ミラー素子を保持又は機械的に上記ミラー素子を保持する装置とし、上記ミラー素子の保持時には薄膜圧電体への電圧印加を解除する第2又は7の態様に記載の光スイッチを提供する。

本発明の第12態様によれば、入射側光伝送路からの光を反射させるミラー素子と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、

10 上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路へ切り替える光スイッチの製造方法であって、

上記アクチュエータは、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写することにより圧電素子を製造する光スイッチの製造方法を提供する。

15 本発明の第13態様によれば、入射側光伝送路からの光を反射させるミラー素子と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、

上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路へ切り替える光スイッチの製造方法であって、

20 上記アクチュエータは、薄膜圧電体を基板に直接製膜することによりより圧電素子が製造される光スイッチの製造方法を提供する。

本発明の第14態様によれば、上記薄膜圧電体が製膜される基板が、シリコンオンインシュレータ基板である第13の態様に記載の光スイッチの製造方法を提供する。

25 本発明の第15態様によれば、入射側光伝送路からの光を反射させるミラー素子と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路へ切り替える光スイッチを用いた情報伝送装置であって、

上記アクチュエータは、薄膜圧電体と、上記薄膜圧電体を駆動するための電圧

を印加する電極と、上記薄膜圧電体と上記電極を有する弾性体とを備える圧電素子により構成され、かつ、上記ミラー素子を挟んで対向する圧電素子の長手方向が並行であり、上記電極に対する電圧印加による上記薄膜圧電体のたわみ変形により、上記ミラー素子を駆動させる光スイッチを用いた情報伝送装置を提供する。

5 本発明の第 1 6 態様によれば、上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体に平行な面にミラー面が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体に平行な面より傾斜させることにより、上記薄膜のおおよその法線面に配置された複数の光伝送路を、ミラー面の反射角を制御することにより切り替える第 1 5 の態様に記載の情報伝送装置を提供する。

10 本発明の第 1 7 態様によれば、上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体の法線方向にミラー面が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体の法線方向に駆動することにより、上記薄膜において面内で平行に配置された複数の光伝送路に、上記ミラー素子を挿入し、伝送路を切り替える第 1 5 の態様に記載の情報伝送装置を提供する。

15 本発明の第 1 8 態様によれば、上記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子の列よりなり、上記複数の光伝送路は上記複数の圧電素子の列に対応して配置される第 1 6 又は 1 7 の態様に記載の情報伝送装置を提供する。

図面の簡単な説明

20 本発明のこれらと他の目的と特徴は、添付された図面についての好ましい実施形態に関連した次の記述から明らかになる。この図面においては、

図 1 A は、本発明の第 1 実施形態における光スイッチの斜視図であり（理解しやすくするため、電極部分をハッチングで示す。） 、

25 図 1 B は、本発明の上記第 1 実施形態の変形例における光スイッチの斜視図であり（理解しやすくするため、電極部分をハッチングで示す。） 、

図 1 C、図 1 D、図 1 E は、それぞれ、本発明の上記第 1 実施形態の様々な変形例における光スイッチのひずみ吸収部の拡大平面図であり（理解しやすくするため、ひずみ吸収部をハッチングで示す。） 、

図 2 A は、本発明の上記第 1 実施形態における光スイッチの一部を表す断面図

であり、

図 2 B、図 2 Cは、それぞれ、本発明の上記第 1 実施形態における光スイッチの電極 4 a－電極 4 c間、及び、電極 4 b－電極 4 c間の電圧と時間との関係を示すグラフであり、

5 図 3は、本発明の上記第 1 実施形態における光スイッチの光伝送路の切り替え原理を説明する断面図であり、

図 4 A、図 4 Bは、それぞれ、本発明の上記第 1 実施形態におけるミラー端変位と周波数との関係を示す周波数応答特性を表すグラフであり、

10 図 5 Aは、本発明の第 2 実施形態における光スイッチの斜視図であり（理解しやすくするため、電極部分をハッチングで示す。） 、

図 5 Bは、本発明の上記第 2 実施形態の変形例における光スイッチの斜視図であり（理解しやすくするため、電極部分をハッチングで示す。） 、

15 図 5 C、図 5 D、図 5 E、図 5 Fは、それぞれ、本発明の上記第 2 実施形態の様々な変形例における光スイッチの低曲げ剛性部の拡大平面図であり（理解しやすくするため、低曲げ剛性部をハッチングで示す。） 、

図 6 A、図 6 Bは、それぞれ、本発明の上記第 2 実施形態に係る光スイッチを伝送線路とともに記載した平面図と側面図（理解しやすくするため、電極部分をハッチングで示す。） 、

20 図 7 A、図 7 Bは、それぞれ、本発明の第 3 実施形態における情報伝送装置の平面図及び側面図であり、

図 8 A、図 8 B、図 8 Cは、それぞれ、第 1 実施形態の光スイッチの製造方法を説明するための工程図であり、

25 図 9 A、図 9 B、図 9 Cは、それぞれ、第 1 実施形態の光スイッチの製造方法においてシリコンオンインシュレータ（SOI）基板を用いる場合の製造プロセスを説明するための工程図であり、

図 1 0は従来のマイクロミラー・デバイスの構造を示す斜視図であり、

図 1 1は従来のマイクロミラー・デバイスの構造を示す斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の記述を続ける前に、添付図面において同じ部品については同じ参照符号を付している。

(第1実施形態)

図1Aは本発明の第1実施形態における光スイッチの斜視図、図1Bは本発明の第1実施形態の変形例における光スイッチの斜視図を示す。また、図2Aは同じく本発明の上記第1実施形態における光スイッチの一部を表す断面図を示す。

基板7上には、ミラー素子1と、ミラー素子1の両側に回転軸9に対して線対称に配置された薄膜圧電体3と、各薄膜圧電体3の上面のミラー素子側に配置された第1上部電極4aと、各薄膜圧電体3の上面の反ミラー素子側に第1上部電極4aとは離れて配置された第2上部電極4bと、各薄膜圧電体3の下面に配置された下部電極4cと、下部電極4cの下面でかつ基板7上に配置された弾性体5とにより、圧電素子2がミラー素子1の両側に線対称に構成され、回路のスイッチ91を閉じることにより電源90からの電圧を第1及び第2上部電極4a、4bと下部電極4cとに印加することにより薄膜圧電体3がたわみ変形し、ミラー素子1を回転軸9周りに回転駆動する。圧電素子2は、隙間を空けて、図1Aでは基板7言い換えれば圧電素子2の長手方向8に平行に一对配置され、この長手方向8と直交した方向にトーションバネ6を設け、トーションバネ6によりミラー素子1を基板7に連結して保持する。さらに、ミラー素子1は、各圧電素子2とはひずみ吸収部10で連結する。

なお、圧電体3上に形成された第1上部電極4aは、第2上部電極4b側から見て、ミラー素子1に向けて圧電体3の変曲点近傍までの位置に配置することが好ましい。すなわち、変曲点を越えて電極を配置しても、たわみ動作が不安定になるなど、悪影響が生じる可能性があるためである。特に、従来の2件の公報では、変曲点を越えて電極を配置しているため、たわみ動作が不安定になりやすく、精度の良い駆動制御が困難なものとなっていた。

薄膜圧電体3には、2分割された上部電極4a及び4bと下部電極4cとが形成されており、薄膜圧電体3はその膜厚方向に分極されている。この理由は、仮に、従来の2件の公報のように、薄膜圧電体3上に上部電極として1つの電極で構成すると、ミラー素子側の部分と反ミラー素子側の部分とではたわみ方向が逆

になる変曲点の位置を制御することができなくなり、たわみ動作が不安定なものとなってしまう。これに対して、第1上部電極4 aと第2上部電極4 bとに分割し、かつ、電極4 cを中間電位として電極4 a及び4 bに異なる電圧を印加することにより、電極4 aと電極4 bでは逆の曲率のたわみ変形が生じさせることができ、変曲点の位置を精度良く制御することができ、たわみ動作を安定なものとするのできるからである。この結果、傾斜方向が安定するため、高速、高精度光切り替え可能となり、応答性が良いものとなる。

また、ミラー素子1の平面度は、ミラー素子1に入射する光の波長 λ の $(1/100)\lambda \sim (1/1000)\lambda$ とするのが好ましい。

このような構成により、トーションバネ6を回転軸9とし、圧電素子2により駆動され、ミラー素子1をこの回転軸9まわりに傾斜させるアクチュエータとなる。トーションバネ6によりミラー素子1の回転軸9を固定することにより、高精度で外乱に対して安定なミラー素子1の駆動ができる。

図2 Aの断面図において、この圧電素子2の駆動動作原理を述べる。

薄膜圧電体3には、2分割された上部電極4 a及び4 bと下部電極4 cとが形成されており、薄膜圧電体3はその膜厚方向に分極されている。

薄膜圧電体3を挟んで対向した電極間（電極4 a－電極4 c間、電極4 b－電極4 c間）に電圧を印加することにより、薄膜圧電体3の面内に圧電定数 d_{31} に応じたひずみが発生し、一方、弾性体5はこの電圧印加によりひずみを発生しないため、圧電体3、電極4 a、4 b、4 c及び弾性体5よりなる圧電素子2にたわみ変形が生じる。

電極4 cを中間電位として電極4 a及び4 bに異なる電圧を印加することにより、電極4 aと電極4 bでは逆の曲率のたわみ変形が生じる。この結果、ミラー素子1を保持するトーションバネ6を回転軸9としてミラー素子1を効率良く傾斜させることができる。

図2 B～図2 Cは、電極4 a及び4 bへ逆層の電圧を印加する方法の説明図である。図2 Bは、上部電極4 a－下部電極4 c間に、交番電圧を印加する場合の電圧波形を示す。図2 Cは、上部電極4 b－下部電極4 c間に、これとは逆位相の交番電圧を印加する場合の電圧波形を示す。この結果、上部電極4 aと上部電

極 4 b では逆の曲率のたわみ変形が生じ、ミラー素子 1 を効率良く傾斜させることができる。

構造上、圧電素子 2 の固定端とトーションバネ 6 との距離は一定であるため、圧電素子 2 のこのようなたわみ変形に伴い、この圧電素子 2 の長手方向のひずみあるいは変位を拘束する傾向を生じ、ミラー素子 1 を効率良く傾斜させることに支障を生じる。この拘束を緩和する手段として、圧電素子 2 の長手方向の剛性を弱めた構造のひずみ吸収部 10 を、圧電素子 2 とミラー素子 1 の間に設ける。このことにより、上記の多分割電極構成の効果と併せて、ミラー素子 1 を効率良く傾斜させることができる。

なお、図 1 A の第 1 実施形態では圧電素子 2 はその長手方向 8 に平行に 2 分割した構成としたが、これは圧電素子 2 のひずみに伴う湾曲が、その長手方向 8 だけでなく、その幅方向にも生じるため、この幅方向の湾曲が長手方向のたわみ変形を阻害することを避けるため、このような構成としている。圧電素子 2 の長手方向 8 の長さが幅方向の寸法より十分大きい場合には、図 1 B に示すように、必ずしも 2 分割しなくてもよい。

すなわち、図 1 B に示すように、圧電素子 2 は、その長手方向 8 沿いに 1 個配置されたものであってもよい。図 1 B は、図 1 A に示した構造において溝 15 を設けず、圧電素子 2 を分割しない簡便な構成としたものである。図 1 A の場合に比べて、図 1 B の光スイッチでは、圧電素子 2 の長手方向 8 と直交する幅方向のたわみの影響で発生変位は減少するが、圧電素子 2 の剛性が大きくなるので、高い共振周波数の構造とすることができ、高速応答性に優れたものとすることができる。図 1 C ～ 図 1 E は、ひずみ吸収部 10 の異なる形態である種々の変形例を示した部分平面図である。図 1 C は図 1 A に示したひずみ吸収部 10 と同形状のもの、すなわち、ひずみ吸収部 10 は英文字「H」の両側をそれぞれ大略 C 字状及び大略逆 C 字状に屈曲したものである。これに対して、図 1 D は、ひずみ吸収部 10 D の圧電素子 2 へはひずみ吸収部 10 の中央部のみで接続するように構成したものである。図 1 D の場合、ひずみ吸収部 10 D の長手方向 8 の方向の剛性が図 1 C に比べて大きくなるため、ミラー素子 1 の駆動角度は小さくなるが、高い共振周波数の構造とすることができ、高速応答性に優れる。さらに、図 1 E は、

ひずみ吸収部 10 の別の構成例を示し、ひずみ吸収部 10 E をミラー素子 1 と圧電素子 2 の異なる端部に互いに連結するように構成したものである。例えば、図 1 E において、左側の圧電素子 2 の下端部とミラー素子 1 の上側の端部とを両端フック形状部で接続するとともに、ミラー素子 1 の下側の端部と右側の圧電素子 2 の上端部とを両端フック形状部で接続するように構成している。このような構造では、ひずみ吸収部 10 E の細い梁部を、圧電素子 2 の長手方向 8 と直交する方向に長くとれるので、比較的小さなスペースで長手方向 8 の方向の剛性を小さくすることができ、ミラー素子 1 の駆動角度を大きくすることができる。

電極 4 a, 4 b, 4 c への配線構造については図示していないが、2 分割した上部電極の可動部に近い（すなわち、ミラー素子 1 に近い）第 1 上部電極 4 a への配線は、このひずみ吸収部 10, 10 D, 10 E 及びトーションバネ 6 を通じて基板 7 の周辺に引き出す構造を採ることができる。

図 3 は、本発明の第 1 実施形態における光スイッチの光伝送路の切り替え原理を説明する断面図を示す。光伝送路 11 a を出射した光ビーム 12 a は、ミラー素子 1 のミラー面 1 a に入射してミラー面 1 a で反射される。圧電素子 2 により駆動されて回転傾斜したミラー面 1 a が、図 3 のごとくの傾斜した位置にあるときには、この光ビーム 12 a は矢印 12 b の方向にミラー面 1 a で反射されて光伝送路 11 b に入射される。ミラー面が逆の方向に回転傾斜した位置では光伝送路 11 c に入射される。このように、圧電素子 2 によりミラー素子 1 の回転角を駆動制御することにより、入力光を、異なった光伝送路に出力することができる。光伝送路が屈折率傾斜型の光ファイバーの場合、入射光ビームは、ある程度コリメートされた状態で出力用光ファイバーに入射される。光スイッチの構成上、この到達距離を長くする必要がある場合には、図示していないが、必要に応じて光ファイバーの入出射端にコリメータレンズを設ける。

図 4 A, 図 4 B は、本発明の第 1 実施形態における光スイッチの周波数応答特性の一例を表すグラフを示す。図 4 A, 図 4 B は、図 1 A に示した構造の光アクチュエータについて解析計算した光スイッチの周波数特性を示すものである。圧電定数は、製膜した薄膜圧電体（PZT 製薄膜圧電体）で測定された圧電薄膜の圧電定数 $d_{31} = -100 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ とし、薄膜圧電体の寸法は長さ 2 mm、

幅 0.8 mm、厚み 3 μ m とし、電極長は可動端側 4 a の長さを 0.6 mm、固定端側 4 b の長さを 1.2 mm とした。弾性体 5 としてアルミニウム薄板を用い、その厚みを 6 μ m、トーションバネ 6 及びひずみ吸収部 10 も弾性体 5 と連続した構造とし、その厚みを 6 μ m、幅を 50 mm とした。基板 7 にはシリコン基板を用い、ミラー素子 2 をこの基板 7 の一部をエッチング加工により残した構造とし、その寸法を 0.5 mm 角、厚み 0.2 mm とし、全体寸法は長さ 6 mm、幅 3 mm、厚み 0.2 mm とした。

電極の剛性は他の部材に比べて十分小さいので、解析計算上は計算モデルから除き、有限要素法により計算したところ、 ± 15 V の電圧印加により、ミラー素子 1 を回転軸まわりに ± 2.9 度傾斜できることがわかった。本実施形態のアクチュエータは、圧電体として製膜した数 μ m 膜厚の薄膜圧電体を用いているため、印加電圧が低いにもかかわらず、圧電体内に生じる電界強度を大きくとることができ、低電圧で効率良く変位を発生させることができる。

なお、可動端側の電極 4 a の長さ L_a と固定端側の電極 4 b の長さ L_b の比は前述した計算例の場合の 1 : 2 程度の時に最も効率良くミラー素子 1 を傾斜できることが、このシミュレーション計算により明らかとなった。少なくとも可動端側 4 a の電極の長さ L_a より固定端側の電極 4 b の長さ L_b を大きくとることがよい。同様に、ひずみ吸収部 10 がない構造では、計算されるミラー素子 1 の角度が大幅に小さいことから、このようなひずみ吸収部 10 はミラー素子 1 を効率良く傾斜させる効果の大きいことが裏付けられた。

図 4 の上のグラフは、横軸を駆動周波数、縦軸をミラー素子の回転軸まわりの傾斜に伴うミラー素子端での変位を表したものの、下のグラフは同じく横軸を駆動周波数、縦軸に駆動周波に対する上記ミラー変位の位相を表したものである。主共振周波数は 2.7 KHz であり、これより低い周波数では位相ずれなく応答しており、このことから、この光スイッチの切り替え時間は少なくとも 1 msec 以下の高速動作することがわかった。

次に、上記第 1 実施形態の光スイッチの製造方法について説明する。

第 1 実施形態の光スイッチの製造方法として、大きく 2 つの方法をとることができる。第 1 の方法は、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写する製

造法である。図 8 A～図 8 C にこの製造プロセスの工程をで説明した断面図を示す。図 8 A の基板 3 0 上に電極 4 a を蒸着、パターニングした後、基板 3 0 の電極 4 a 上に、圧電薄膜 3 を同じく蒸着、パターニングする。この製造法では、薄膜圧電体の圧電定数等の材料特性に有利な基板材料、例えば P Z T (チタン酸ジルコン酸鉛) の製膜をスパッタ蒸着により行う場合、P Z T のエピタキシャル成長に M g O 基板を用いかつ下地層として P t を用いると、優れた圧電特性を持つ P Z T 膜を得ることができる。この場合、P t 下地層はそのまま電極 4 a となる。この薄膜圧電体を弾性体 5 として、例えばステンレスの薄板に接着性の転写層 3 1 を介して転写し (図 8 B)、その後、この製膜基板を除去することで、上記構成の光スイッチを形成することができる (図 8 C)。

第 2 の方法は、薄膜圧電体を基板に直接製膜する製造法である。この場合、薄膜圧電体の良好な圧電特性を得るため、その下地の構成材料の選択に制約を受けるが、転写プロセスが不要な分、簡便な製造法となる。例えば、第 1 実施形態の図 2 A における断面図では、薄膜圧電体 3 が電極 4 c を介して弾性体 5 の上に構成されているが、この弾性体として上記計算解析で用いたアルミニウム上に特性の優れた圧電薄膜を形成することは、一般に難しい。直接製膜法をとる場合には、例えば基板の S i 上に下地バッファ層を形成した後、電極と薄膜圧電体層を製膜し、この後、弾性体層をその上に形成した上、圧電素子下部の S i 基板を除去する方法を採ることができる。この場合の光スイッチの断面構成は、必ずしも図 2 に記した構成とはならないことは勿論である。薄膜圧電体の製膜法としては、上記のスパッタ法以外にゾルゲル法を用いることもできる。

薄膜圧電体を S i 上に直接製膜する場合、シリコンオンインシュレータ (S O I) 基板を用いると、この S O I 基板を構成するシリコン薄膜を弾性体として残すことができるので好都合である。図 9 A～図 9 C に、このシリコンオンインシュレータ (S O I) 基板を用いる場合の製造プロセスの説明図を示す。図 9 A において、シリコンオンインシュレータ基板 3 2 は、シリコン 3 3 上にインシュレータ (シリコン酸化膜) 3 4 を下地層としてその上に形成されたシリコン薄膜 3 5 によりなる。この S O I 基板 3 2 を基板として用い、この上に電極 4 b として P t を蒸着した後、これを下地層としてこの上に P Z T を蒸着、パターニングし、

薄膜圧電体 3 とする。次に、図 9 B のようにシリコン 3 3 およびインシュレータであるシリコン酸化膜 3 4 をエッチング除去し、最に、図 9 C に示すように電極 4 a を蒸着、パターンニングして圧電素子を形成する。

ここで、シリコン薄膜 3 5 とシリコン薄膜の下地層であるシリコン酸化膜 3 4 とのエッチング選択性を利用することにより、均一な厚みのシリコン薄膜層 3 5 を残すことができるので、圧電素子のたわみ変形効率を稼ぐのに望ましい均一で低い曲げ剛性の弾性体層 3 5 を形成することができる。

この弾性体として S O I 基板を構成するシリコン薄膜のみを残す例について述べたが、シリコン薄膜とシリコン酸化膜の両方を残すことも、もう一つの選択枝である。この場合、ドライエッチングの時間制御でこのような構成の圧電素子を形成することができる。さらに、製膜時のドーズガス雰囲気条件などのプロセス条件を変えることで、これらの薄膜に残留する内部応力を制御することができ、薄膜圧電体の内部応力とバランスをとることで圧電素子の形状精度を確保することができる。

(第 2 実施形態)

図 5 A は本発明の第 2 実施形態における光スイッチの斜視図を示す。この第 2 実施形態では、ミラー面 1 b を薄膜圧電体の構成面である基板面に対して図 5 A の法線方向に設けており、かつミラー素子 1 A を上記基板面の法線方向に駆動している。各構成要素のほとんどは第 1 実施形態の詳細説明として述べた図 1 A と同様であるので、共通する構成要素には同じ符号を付与している。圧電素子 2 を構成する薄膜圧電体 3、電極 4 及び弾性体 5 は第 1 実施形態に準じた構成であるので、ここではその図示は省略している。電極 4 は、第 1 実施形態と同様に 2 つの上部電極 4 a、4 b より構成されているが、ここでは簡略化のため 1 つの電極として図示しているが、実際には図 1 A のように構成されている。しかしながら、電極 4 は、簡略化のため同一曲率にたわむ部分にのみ構成してもよい。このように簡略化した構成では、ミラー素子 1 A の駆動される変位が一般には小さくなるが、ひずみ吸収部 1 0 を設ける構成以外に、これを補うため、圧電素子 2 のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ部分に低曲げ剛性部 1 3 を構成している。この低曲げ剛性部 1 3 は、具体的には、弾性体の形状を電極側である固定端側からミラー素

子 1 A が搭載される可動端側に向かって徐々に細くする形状とすることで、面積を徐々に小さくして、効率良く逆曲率のたわみを発生させ、結果として電極構成の簡略化と、大きな変位効率の両立を実現することができるものである。尚、圧電素子 2 の中央にその長手方向 8 に沿って溝 1 5 を設けたのは、圧電素子 2 の幅方向のたわみ変形を軽減し、長手方向 8 のたわみ変形の効率を上げるための構成である。

図 5 B は、図 5 A に示した構造において溝 1 5 を設けず、圧電素子 2 を分割しない簡便な構成としたものである。図 5 A の場合に比べて、図 5 B の光スイッチでは、圧電素子 2 の長手方向 8 と直交する幅方向のたわみの影響で発生変位は減少するが、圧電素子 2 の剛性が大きくなるので、高い共振周波数の構造とすることができ、高速応答性に優れたものとすることができる。

図 5 C ～ 図 5 F は、低曲げ剛性部 1 3 の異なる形態である種々の変形例を示した部分平面図である。図 5 C は図 5 A に示した低曲げ剛性部 1 3 と同形状のもの、すなわち、低曲げ剛性部 1 3 は、圧電素子 2 と大略同一幅の帯部分の中央に、ミラー素子側から電極側に向かって細くなるような大略三角形形状の貫通口 1 3 f を形成して、面積を徐々に小さくなるようにしたものである。これに対して、図 5 D は、低曲げ剛性部 1 3 D の形状を、圧電素子 2 の幅よりも大幅に小さくかつ幅の均等な両持ち梁にして圧電素子 2 とひずみ吸収部 4 9 との間の幅方向中央部に長手方向 8 沿いに配置したものである。図 5 D の場合、長手方向 8 のまわりの回転剛性は小さくなるもの、ひずみ吸収部 4 9 を設けるスペースが増え、この低曲げ剛性部 1 3 D が位置する部分の低剛性化がしやすくなる。さらに、図 5 E は、低曲げ剛性部 1 3 E の別の構成例を示し、低曲げ剛性部 1 3 E を、その幅を圧電素子側から遠ざかるに従って小さくするテーパ状の構成にしたものである。このようなテーパ状の梁は、梁内部の応力及びひずみをその長手方向 8 に渡って均一にする効果があり、材料強度上、好ましい。さらに、図 5 F は、図 5 D において、ミラー素子 1 A の両側に配置された一対の低曲げ剛性部 1 3 a 及び 1 3 b の剛性を違えた構成例を示す。具体的には、低曲げ剛性部 1 3 a の幅は圧電素子 2 の幅よりも少し小さくし、低曲げ剛性部 1 3 b の幅は圧電素子 2 の幅よりも大幅に小さくしかつ低曲げ剛性部 1 3 a の幅より小さくしている。このように、曲げ剛性

のバランスを崩すことにより、ミラー素子 1 A を上下方向だけでなく、長手方向 8 と直交する軸のまわりに回転させることもできる。この機能を利用して、例えばミラー素子 1 A で反射された戻り光を、電送路からドロップさせることができる。

次に、有限要素法でこの第 2 実施形態の構成の光スイッチの性能計算した結果について述べる。圧電定数は、製膜した薄膜圧電体（P Z T 製薄膜圧電体）で測定された圧電薄膜の圧電定数 $d_{31} = -100 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ とし、薄膜圧電体の寸法は長さ 3.2 mm、全幅 1.4 mm、溝幅 0.1 mm、厚み $3 \mu\text{m}$ とし、電極長は 3.2 mm とした。弾性体 5 としてシリコン及びシリコン酸化膜を用い、その厚みをそれぞれ $20 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ とし、ひずみ吸収部 10 及び低曲げ剛性部 13 も同じ構成とした。また、ミラー素子 1 A の質量を $200 \mu\text{g}$ とした。この結果、電極 4 に 30 V 印加した状態で、ミラー素子 1 A の変位として $90.6 \mu\text{m}$ 動かせることが分かった。

また、振動モード解析によれば、その主共振周波数は 1.14 KHz であり、スイッチング速度として 1 msec オーダの高速応答性があることが分かった。

図 6 A、図 6 B は、この光スイッチを伝送線路とともに表示した平面図と側面図である。伝送線路 11 a から出射された入力光ビーム 12 a は、ミラー素子 1 A が上方に駆動されていない位置では、光ビーム 12 c となって伝送線路 11 c に出射される。圧電素子 2 により駆動されてミラー素子 1 A が図 6 B の上方の位置にある場合には、伝送線路 11 a からの入力光ビーム 12 a は、90 度の V 型に構成された反射面 1 b を持つミラー素子 1 A により反射され、伝送線路 11 b への出射光ビームとなる。

ミラー素子 1 A は、図 6 B 中、参照番号 14 で想像線として示すようにミラー素子 1 A の保持装置 14 を配置し、ミラー素子 1 A の姿勢を高い精度で保持することが望ましい。前述のミラー回転型では、出射光をモニターし、このモニターによる検出信号を光スイッチの駆動電圧にフィードバックすることで、ミラー姿勢を保つことができるが、この実施形態でのミラー素子 1 A の図 6 B での基板表面に対する法線方向の駆動の場合、ミラー素子 1 A の上面ないしは下面（下面のミラー素子保持装置の図示は省略）に保持のための基準面を設け、ミラー素子保

持装置 1 4 によりミラー素子 1 A の上面を上方位置で位置保持することにより、予め設計された位置、姿勢に高精度にミラー素子 1 A を固定保持することは容易である。

5 圧電駆動の特徴として、その発生力は、変位するに従って低減する特性を持つことから、このミラー素子保持装置 1 4 は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動でミラー素子 1 A を保持又は機械的に上記ミラー素子を保持する装置 1 4 とし、上記ミラー素子 1 A の保持時には、薄膜圧電体への電圧印加を制御手段（例えば、図 1 A のスイッチ 9 1 として配置され、他の装置などからの情報又は信号により、薄膜圧電体への電圧印加回路を開閉するために機能する制御手段）で解除するこ
10 とが望ましい。特に静電駆動は薄い絶縁層を介しての電極間の静電吸着力を利用することができ、この力は電極間隔が小さいほど大きく、また、必要な電流も非常に小さく低電力であり、望ましい。

なお、ここでは、ミラー素子 1 A として V 型に構成された反射面 1 b を持つミラー素子の場合について説明したが、ミラー素子 1 A を単に入射光を反射する
15 （例えば図 1 A のようなミラー素子 1）か透過するミラー素子として光路を切り替えるものとしてもよい。

（第 3 実施形態）

図 7 A、図 7 B は、本発明の第 3 実施形態における情報伝送装置の平面図及び側面図を示す。この第 3 実施形態では、アクチュエータは、その長手方向 8 を平行に配置した複数の圧電素子 2 の列よりなり、複数の光伝送路 1 1 はこれらの複
20 数の圧電素子 2 の列と対応して配置している。このような構成を採ることにより、光伝送路 1 1 を高密度に多数配置することが可能で、かつ多数の光伝送路を含む光スイッチを小型コンパクトに構成することができる。

特に、光伝送路として使われる光ファイバは、通常、多数のファイバーを束ねて使用され、その末端のコネクターは、個々のファイバーを平行配置した形式の
25 ものが一般的である。図 7 A 中、多数の光伝送路 1 1（具体的には、伝送線路 1 1 a、1 1 b）を平行配置して、その末端を光コネクタ 1 6 に結合している。伝送線路 1 1 a からの入力光ビーム 1 2 a は、ミラー素子 1 の傾斜角に応じてミラー素子 1 により反射され、伝送線路 1 1 b への出射光ビーム 1 2 b となる。ミラ

一素子 1 を傾斜駆動させる形式の光スイッチでは、ミラー素子 1 をミラー素子保持装置により固定保持することは難しいので、出力光モニター 17 で検出した出射光量を駆動制御部 18 に取り込み、この検出信号に基づいた帰還制御をかけて圧電素子 2 を駆動することにより、安定した情報の伝達、切り替えを行うことができる。

本発明の上記第 3 実施形態の情報伝送装置は、図 7 A にそれぞれ 1 点鎖線で示すように、上記圧電素子 1 の駆動制御部 18 を含めた光スイッチ装置 19 としてもよく、また、その周辺の機能部品を含んだ情報伝送装置 20 としてもよい。ここで、光ネットワーク網で波長多重された光伝送路の入力は光増幅器 22 に入力され、波長多重されたそれぞれの信号に、分波器 22 により波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号に復調される。各々の光伝送路はサブの情報伝送装置である光スイッチ装置 19 の光伝送路 11a に入射される。光スイッチ装置 19 により切り替えられた光伝送路 11b からの出力は、各々のレシーバ $R_1 \sim R_n$ に送られ、各端末に情報が伝送される。

本発明の上記実施形態の光スイッチによれば、その駆動素子の長手方向 8 を、ファイバーの列と対応して配置することにより、光スイッチ群を高密度に構成することができる。また、光ファイバーコネクタはその位置決め機能がサブミクロン単位で設計されており、本発明の上記実施形態の薄膜 Si プロセスで製作される多数の光スイッチ群の優れた配列精度と組み合わせることで、高精度でありながら簡便な構成の光スイッチを提供できる。また、本発明の上記実施形態によれば、上記に説明した光コネクタを一体化することにより光ファイバーコネクタ埋め込み型の超小型光スイッチを実現することも可能であり、極めて顕著な効果を提供できる。また、反射界面での反射率を制度良く制御できるため、従来は数十 dB 程度の挿入損失であったのが、本発明によれば、-60 dB 程度の挿入損失、言い換えれば、入射光に対する出射光の損失比率が 1 万分の 1 まで減らすことができる。

以上のように、本発明によれば、高速大容量化に伴う光通信網の拡大に対応して、高速、高精度光切り替えを低電圧低電力駆動で可能とすると共に、装置自体がコンパクトで製造の容易さを含めて実用レベルの具体的構成を備えて、光スイ

タッチ及びその製造方法、それを用いた情報伝送装置を実現するという顕著な効果が得られる。

なお、上記様々な実施形態のうちの任意の実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

- 5 本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して十分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形や修正は明白である。そのような変形や修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

請 求 の 範 囲

1. 入射側光伝送路（11, 11a）からの光を反射させるミラー素子（1, 1A）と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータ（2）とを備え、

5 上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路（11, 11a, 11b）へ切り替える光スイッチであって、

10 上記アクチュエータは、薄膜圧電体（3）と、上記薄膜圧電体を駆動するための電圧を印加する電極（4a, 4b, 4c）と、上記薄膜圧電体と上記電極を有する弾性体（5）とを備える圧電素子（2）により構成され、かつ、上記ミラー素子を挟んで対向する圧電素子の長手方向が並行であり、上記電極に対する電圧印加による上記薄膜圧電体のたわみ変形により、上記ミラー素子を駆動させる光スイッチ。

15 2. 上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体に平行な面にミラー面（1a）が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体に平行な面より傾斜させる請求項1に記載の光スイッチ。

20 3. 上記アクチュエータは、長手方向（8）を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、上記長手方向と直交に配置したトーションバネ（6）により上記ミラー素子を保持する構成とすることにより、上記トーションバネを回転軸とした回転方向に上記ミラーを傾斜させる請求項2に記載の光スイッチ。

4. 上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向（8）を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、上記圧電素子の長手方向の一部に上記長手方向沿いのひずみ吸収部（10）を配置する請求項2に記載の光スイッチ。

25 5. 上記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子は複数の電極に分割され、各電極に異なる電圧を印加することにより上記薄膜圧電体を異なった曲率にたわみ変形させる請求項1に記載の光スイッチ。

6. 上記圧電素子を構成する上記弾性体は、少なくともシリコンオンインシュレータ基板を構成する薄膜シリコン又はシリコン酸化膜を含む請求項1に記載

の光スイッチ。

7. 上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体の法線方向にミラー面（1 b）が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体の法線方向に駆動する請求項 1 に記載の光スイッチ。

5 8. 上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、上記圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部（4 9）を構成する請求項 7 に記載の光スイッチ。

10 9. 上記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも複数の圧電素子よりなり、上記圧電素子のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ低曲げ剛性部を構成する請求項 2 又は 7 に記載の光スイッチ。

10 10. 上記アクチュエータは、上記ミラー素子を並行移動させたのち所定の位置に保持するミラー素子保持装置（1 4）を有する請求項 2 又は 7 に記載の光スイッチ。

15 11. 上記ミラー素子保持装置は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動で上記ミラー素子を保持又は機械的に上記ミラー素子を保持する装置とし、上記ミラー素子の保持時には薄膜圧電体への電圧印加を解除する請求項 2 又は 7 に記載の光スイッチ。

12. 入射側光伝送路（1 1, 1 1 a）からの光を反射させるミラー素子（1, 1 A）と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータ（2）とを備え、

20 上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路（1 1, 1 1 a, 1 1 b）へ切り替える光スイッチの製造方法であって、

上記アクチュエータは、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写することにより圧電素子を製造する光スイッチの製造方法。

25 13. 入射側光伝送路（1 1, 1 1 a）からの光を反射させるミラー素子（1, 1 A）と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータ（2）とを備え、

上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路（1 1, 1 1 a, 1 1 b）へ切り替える光スイッチの製造方法であって、

上記アクチュエータは、薄膜圧電体を基板に直接製膜することによりより圧電素子が製造される光スイッチの製造方法。

14. 上記薄膜圧電体が製膜される基板が、シリコンオンインシュレータ基板である請求項13に記載の光スイッチの製造方法。

5 15. 入射側光伝送路(11, 11a)からの光を反射させるミラー素子(1, 1A)と上記ミラー素子を駆動するアクチュエータ(2)とを備え、上記ミラー素子は、上記アクチュエータの駆動によって上記入射側光伝送路から入射した光の光路を出射側光伝送路(11, 11a, 11b)へ切り替える光スイッチを用いた情報伝送装置であって、

10 上記アクチュエータは、薄膜圧電体(3)と、上記薄膜圧電体を駆動するための電圧を印加する電極(4a, 4b, 4c)と、上記薄膜圧電体と上記電極を有する弾性体(5)とを備える圧電素子(2)により構成され、かつ、上記ミラー素子を挟んで対向する圧電素子の長手方向が並行であり、上記電極に対する電圧印加による上記薄膜圧電体のたわみ変形により、上記ミラー素子を駆動させる光ス
15 イッチを用いた情報伝送装置。

16. 上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体に平行な面にミラー面(1a)が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体に平行な面より傾斜させることにより、上記薄膜のおおよその法線面に配置された複数の光伝送路を、ミラー面の反射角を制御することにより切り替える請求項15に記載
20 の情報伝送装置。

17. 上記ミラー素子は、上記薄膜圧電体の法線方向にミラー面(1b)が設けられ、上記アクチュエータは、上記ミラー素子を上記薄膜圧電体の法線方向に駆動することにより、上記薄膜において面内で平行に配置された複数の光伝送路に、上記ミラー素子を挿入し、伝送路を切り替える請求項15に記載の情報伝
25 送装置。

18. 上記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子の列よりなり、上記複数の光伝送路は上記複数の圧電素子の列に対応して配置される請求項16又は17に記載の情報伝送装置。

1/15

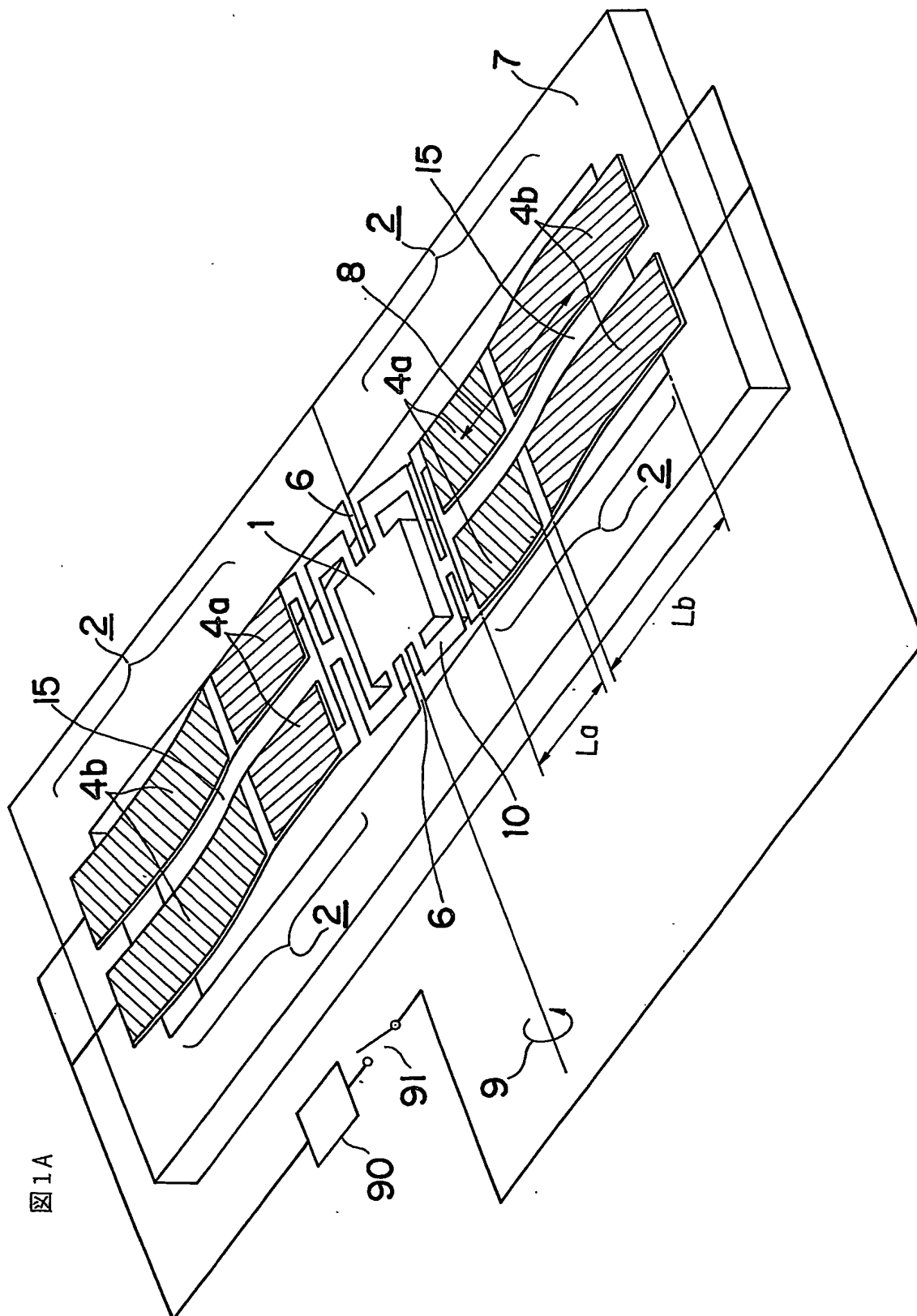
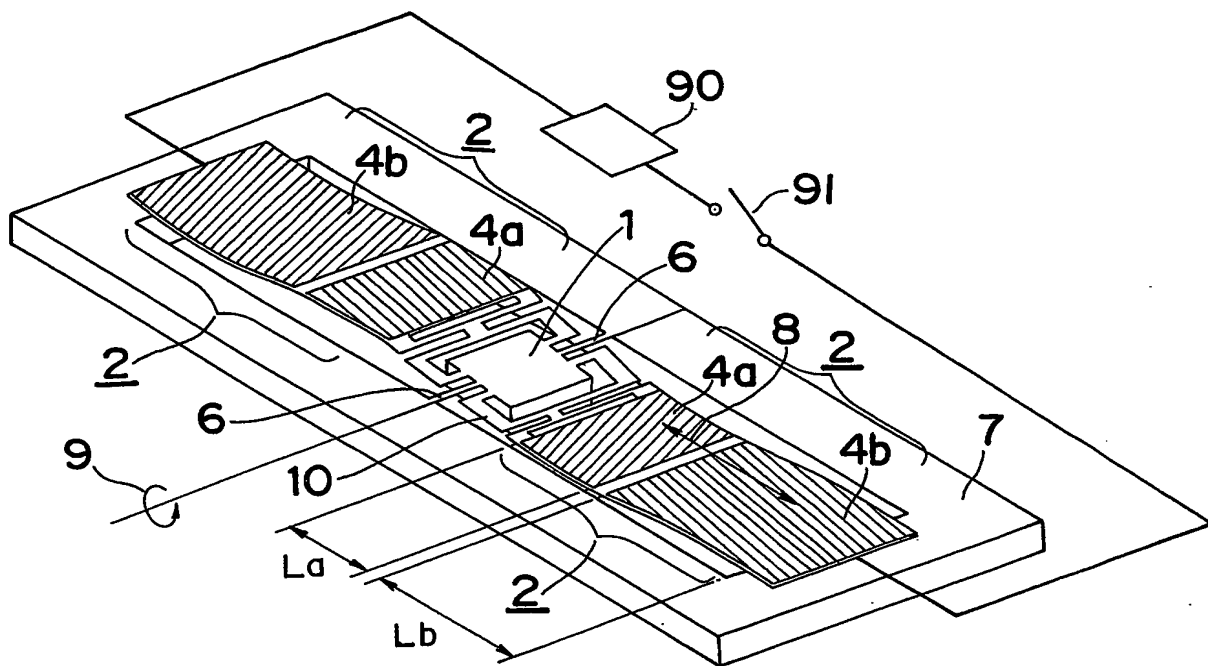


図 1B



3/15

図 1C

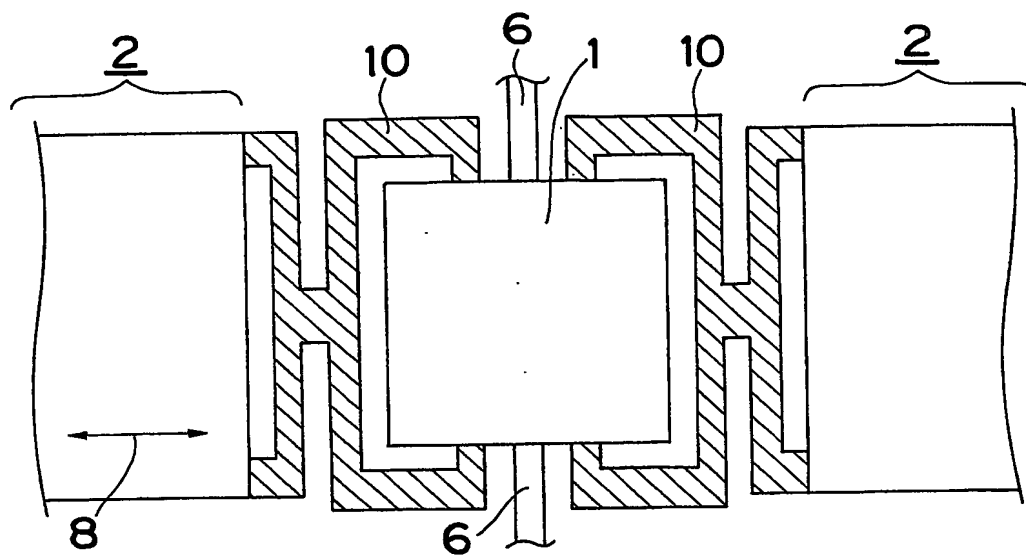


図 1D

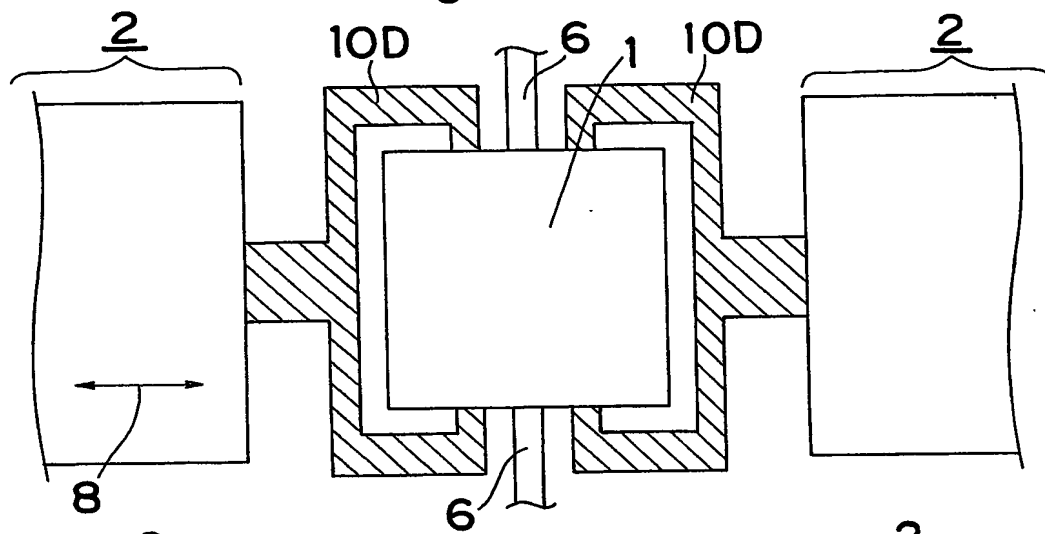


図 1E

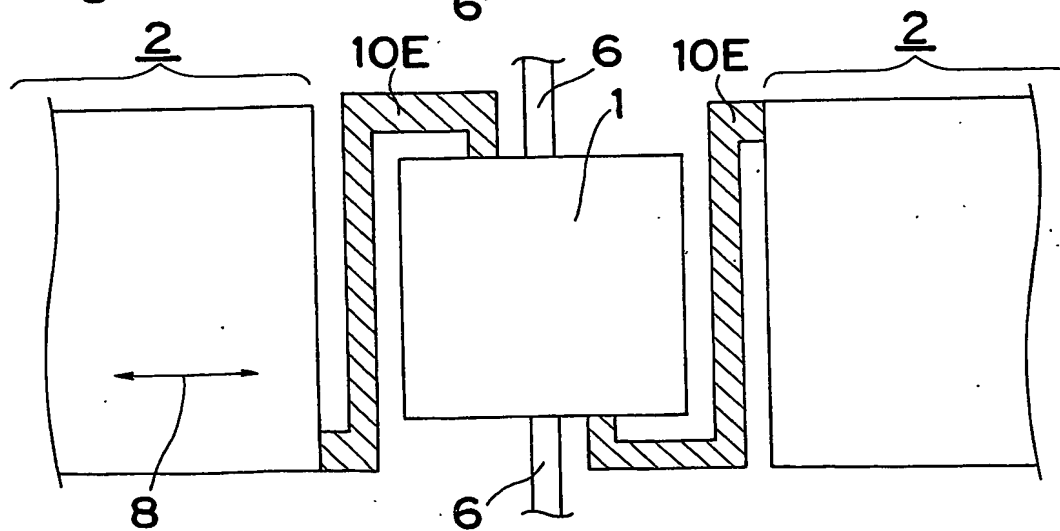
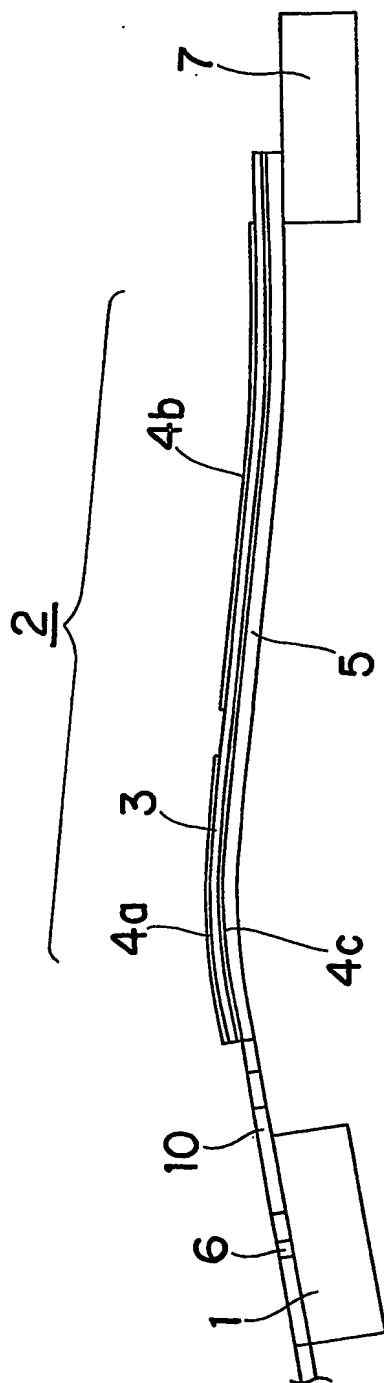


図 2A



5/15

図 2B

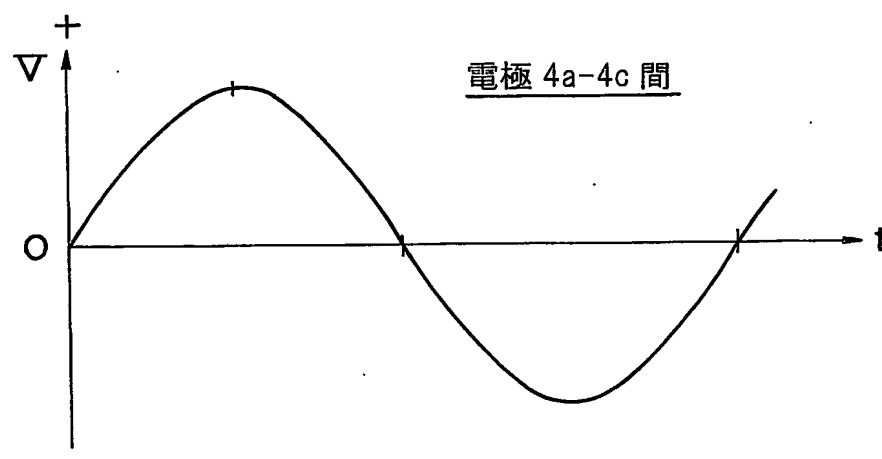
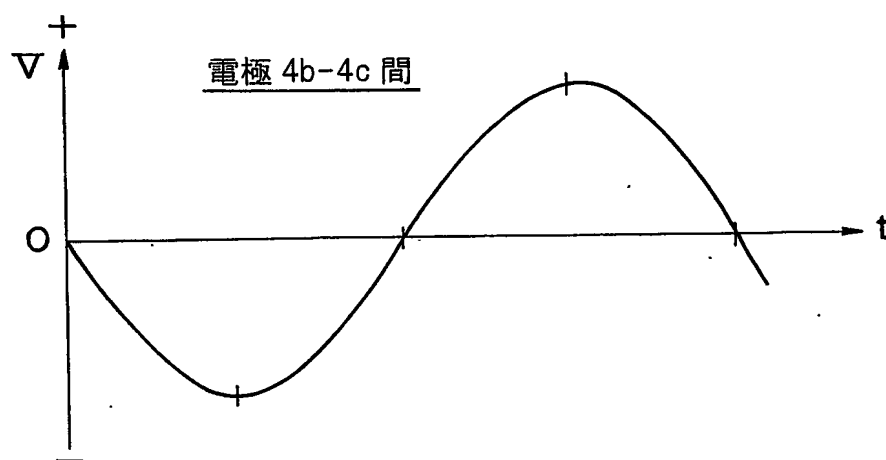


図 2C



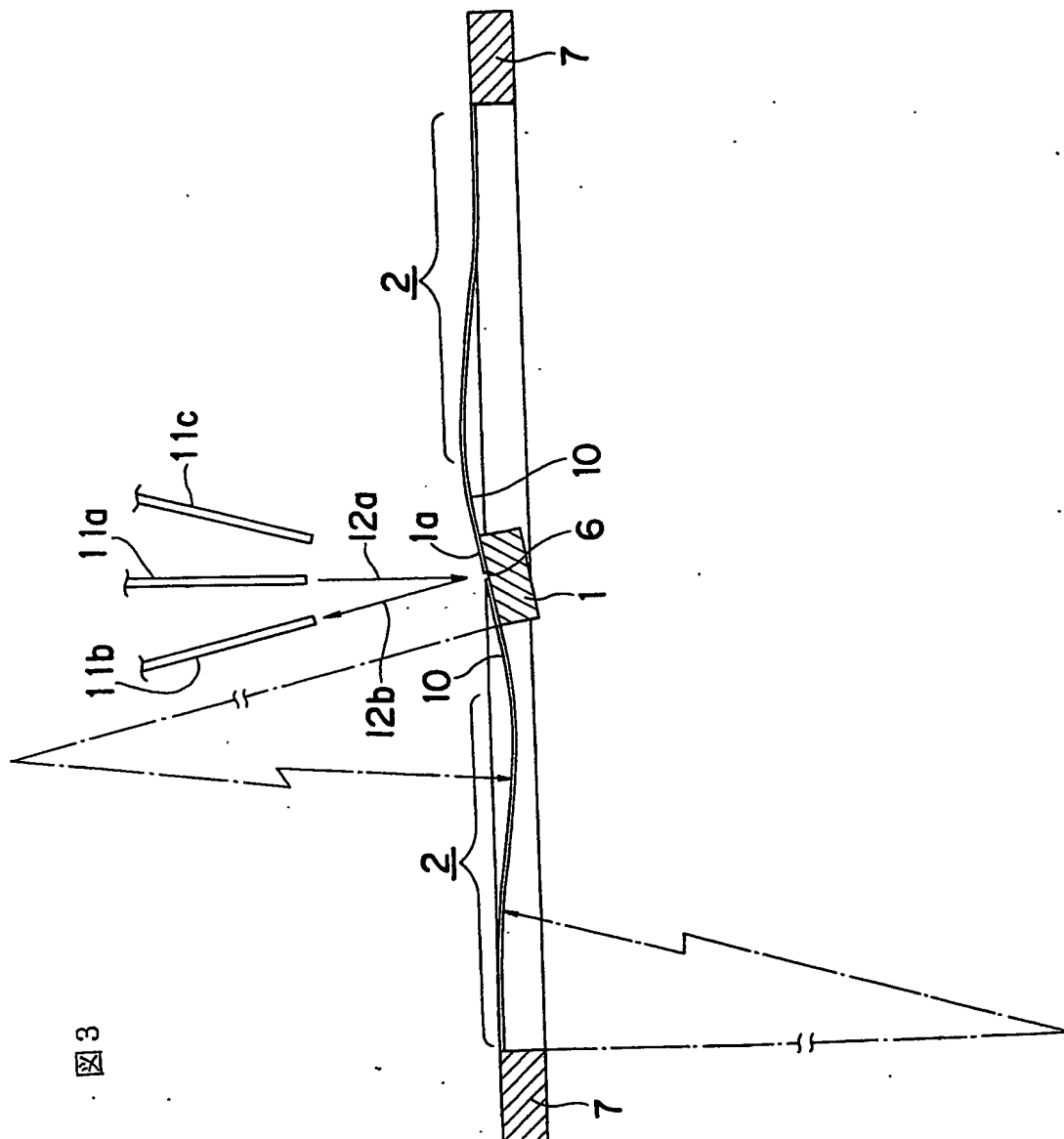


図 3

図 4 A

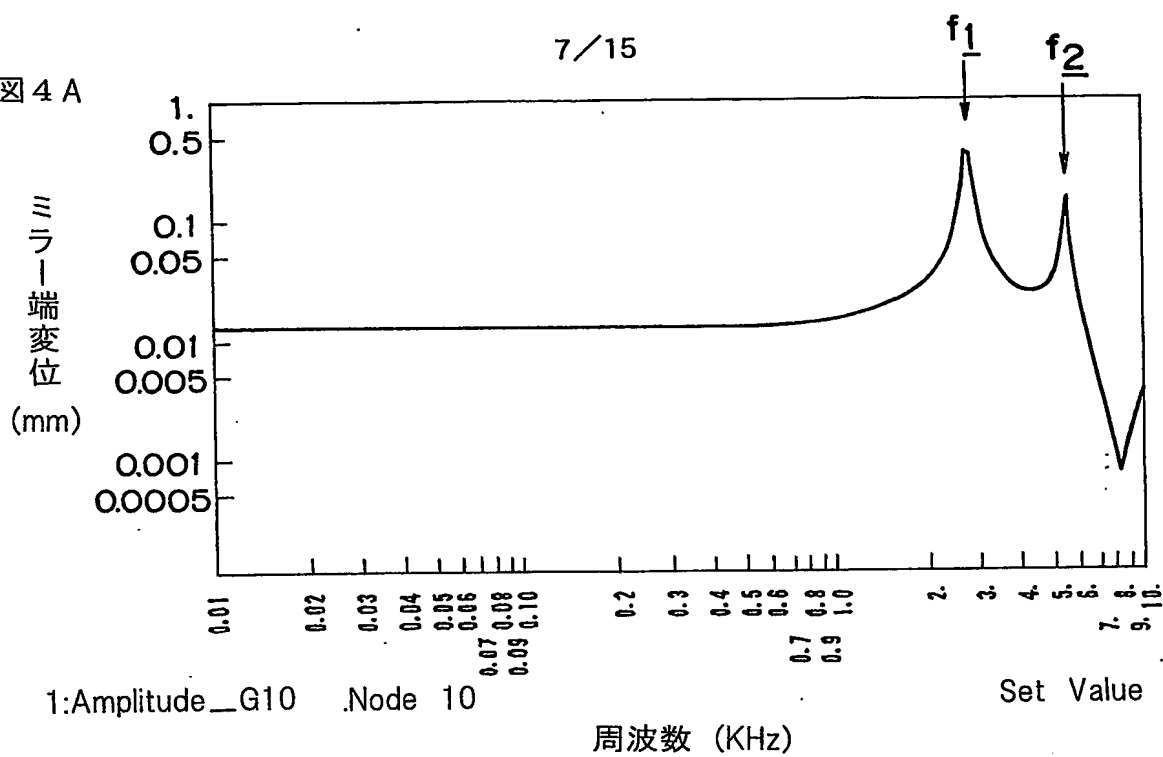
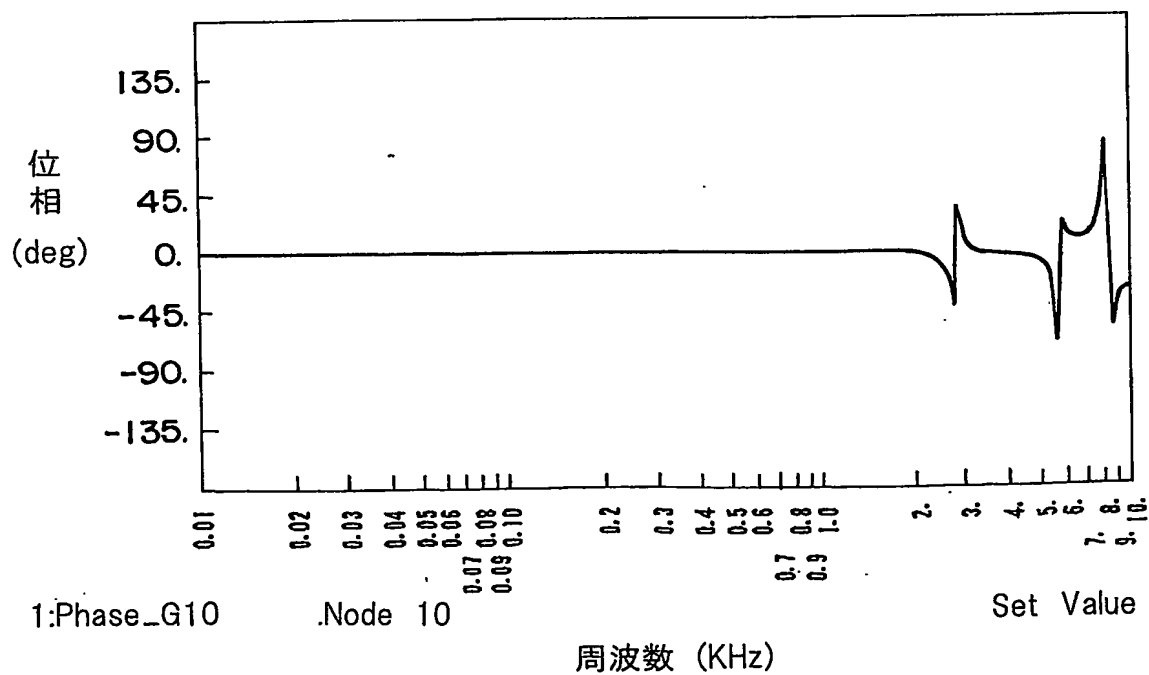


図 4 B



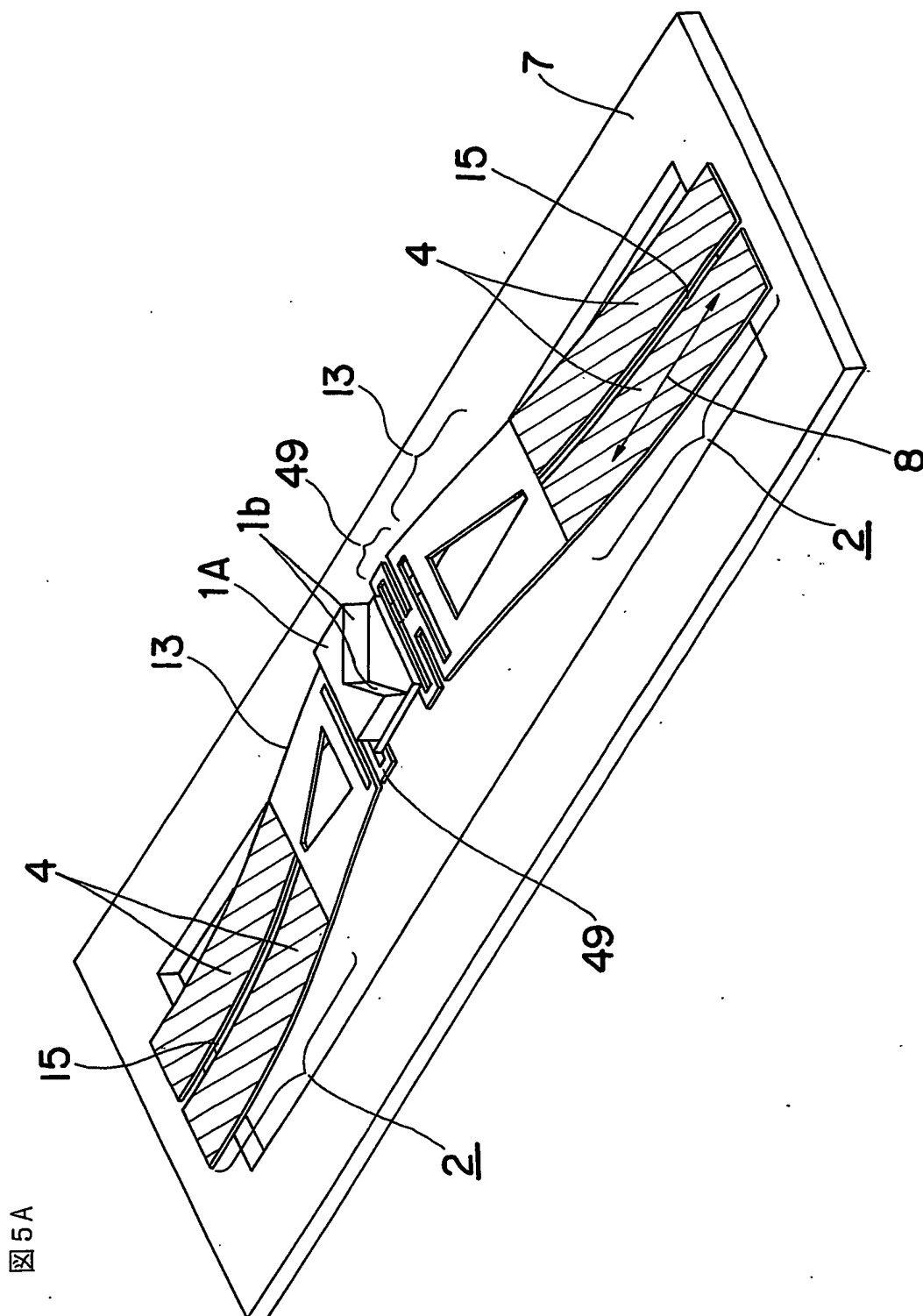


図 5B

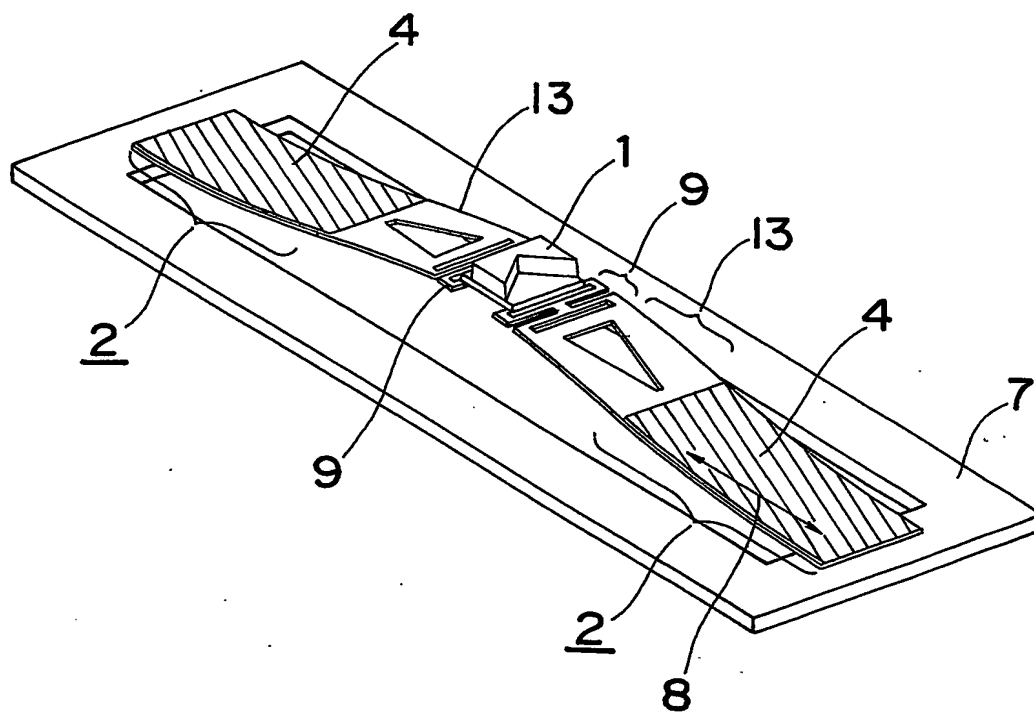


図 5C

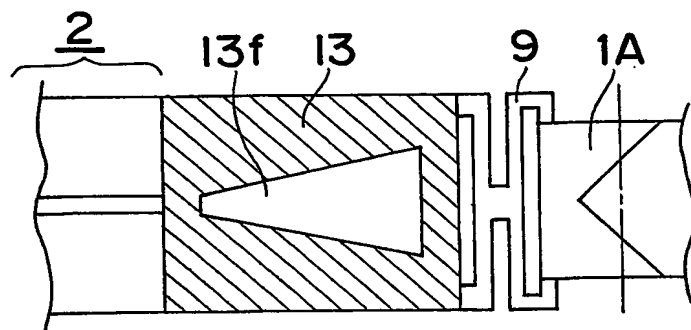


図 5D

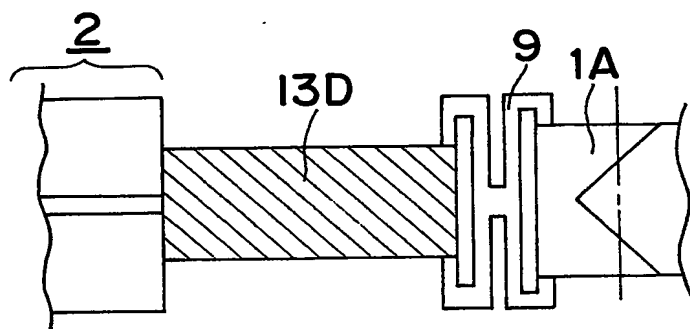


図 5E

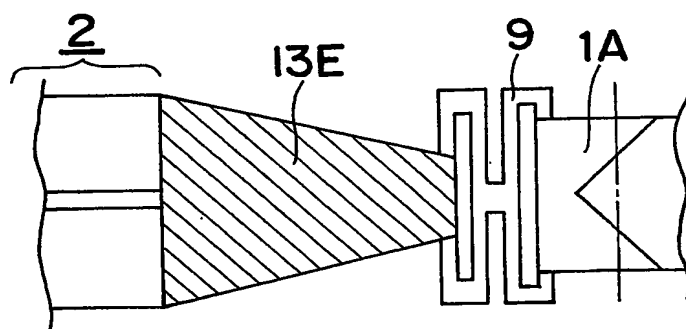


図 5F

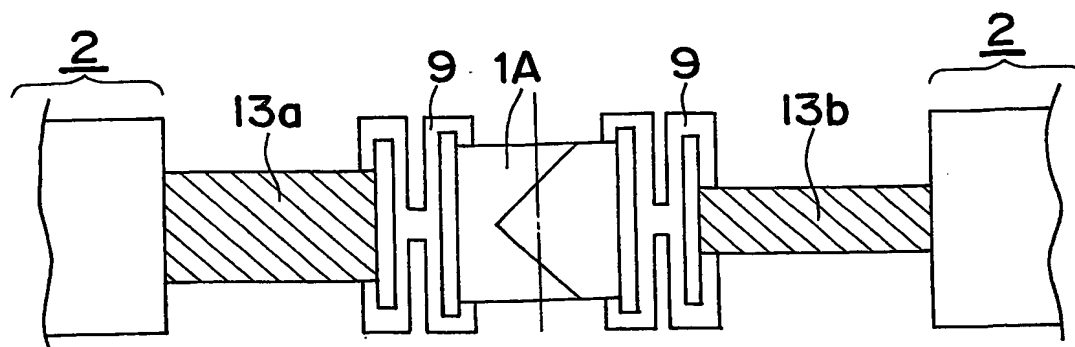


图 6A

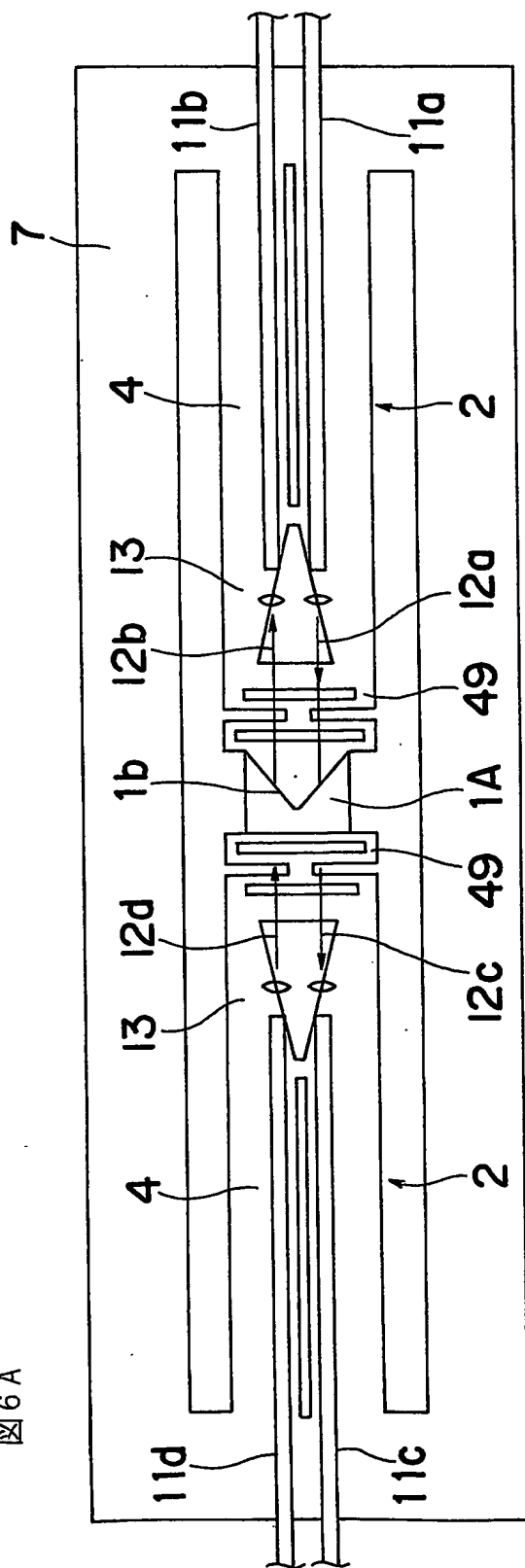
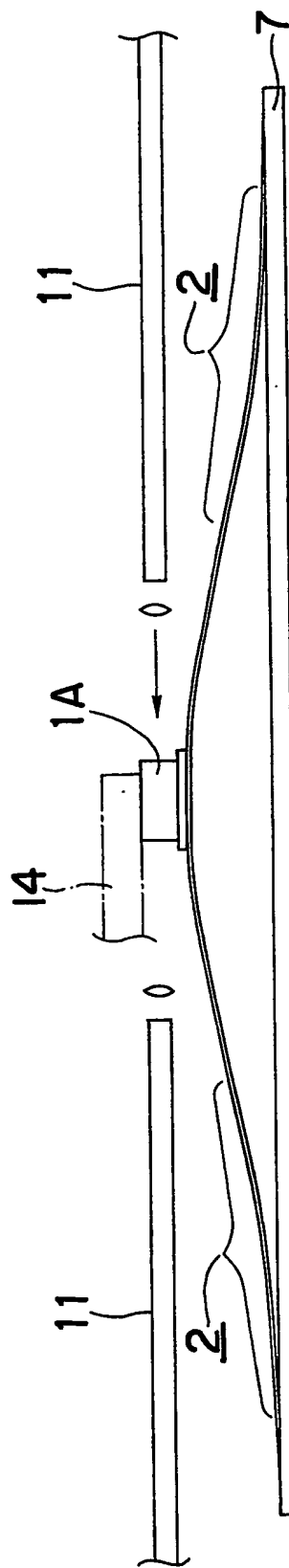
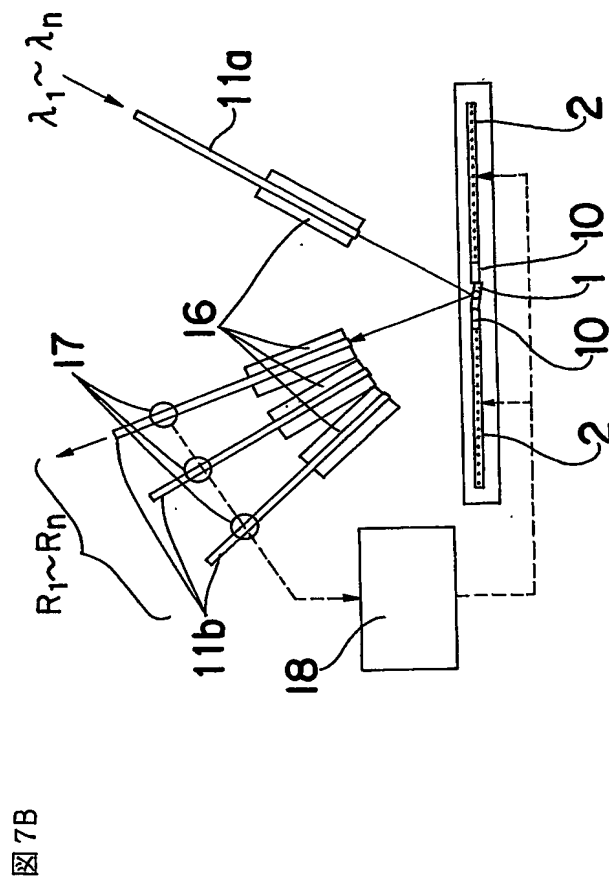
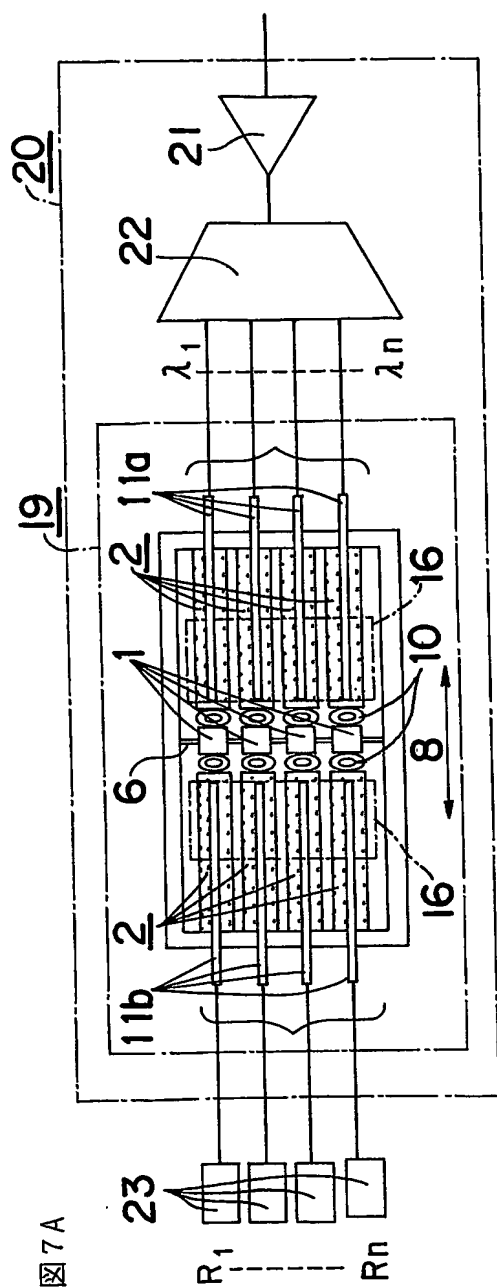


图 6B



12/15



13/15

図 8A

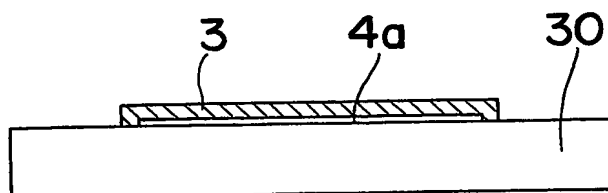


図 8B

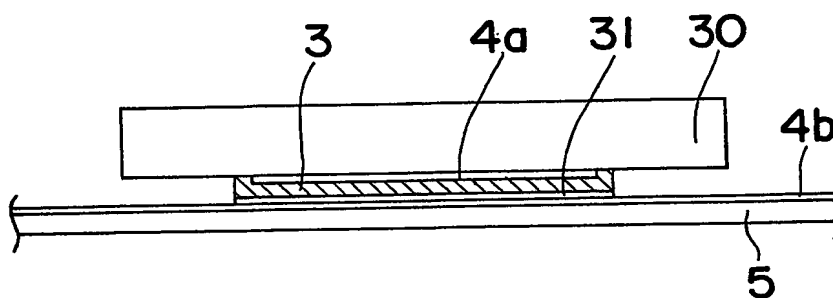


図 8C

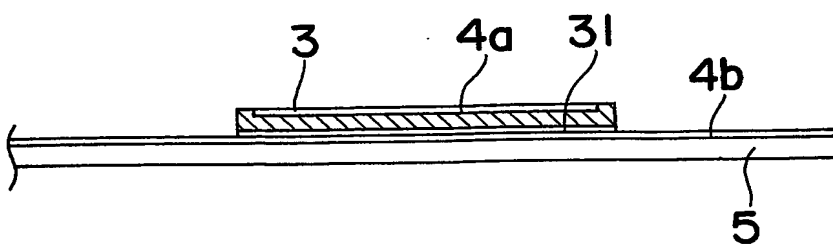


図 9A

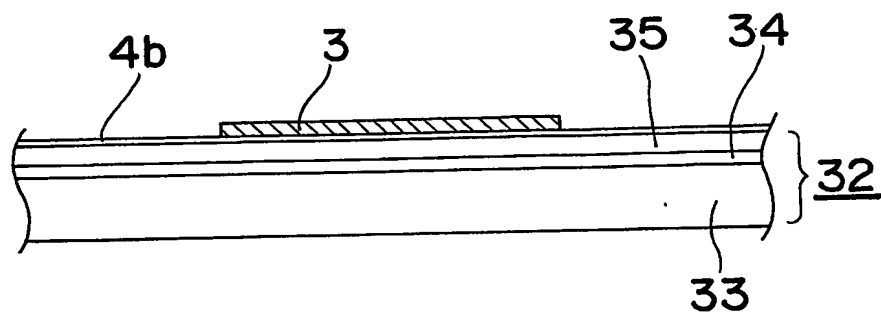


図 9B

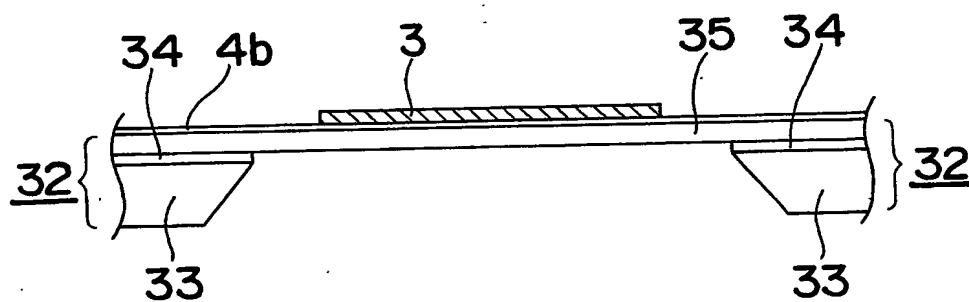
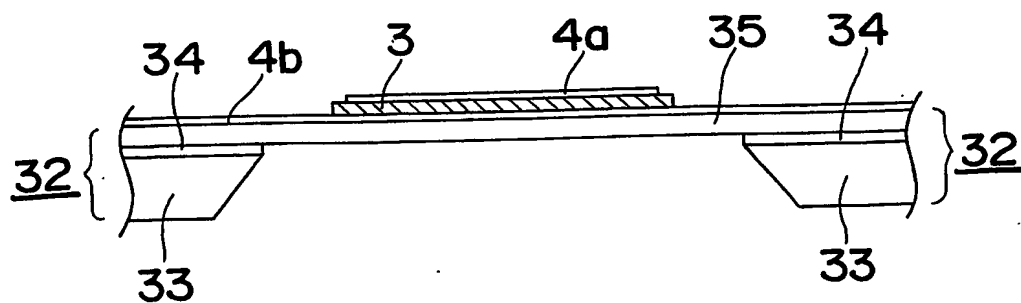


図 9C



15/15

図 10

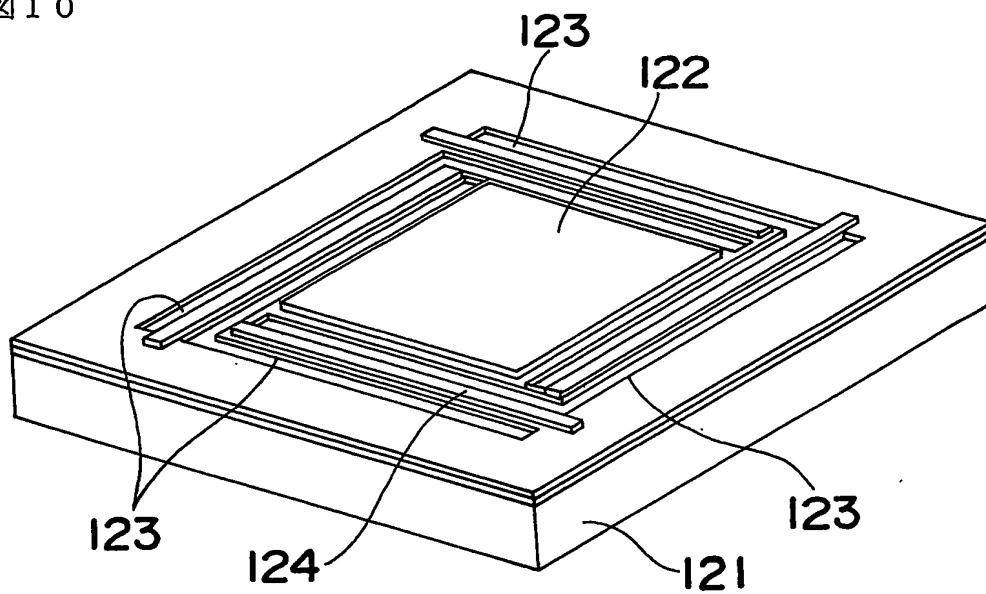
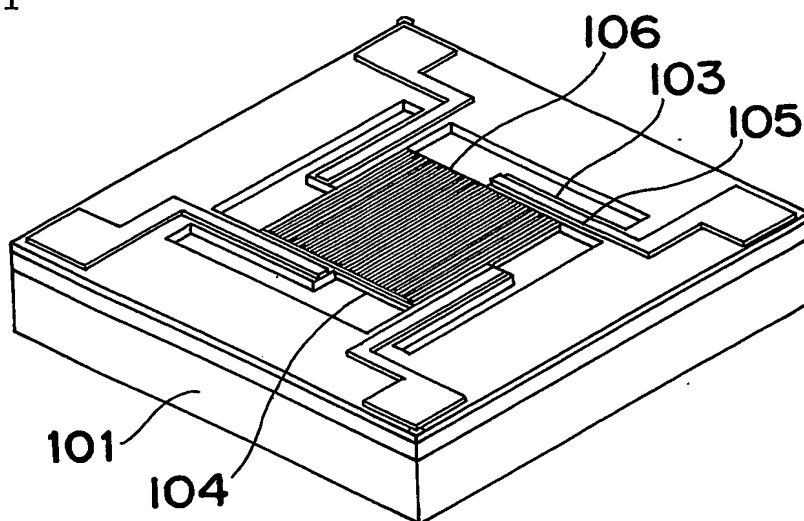


図 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/00401

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B26/08, B81B3/00, H04B10/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B26/08, B81B3/00, H04B10/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2-94578 A (Toshiba Corp.), 05 April, 1990 (05.04.90), Fig. 1 (Family: none)	1-6, 15, 16, 18 10, 11
Y A	JP 2000-19434 A (The Nippon Signal Co., Ltd.), 21 January, 2000 (21.01.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-6, 15, 16, 18 10, 11
Y	JP 9-90249 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 04 April, 1997 (04.04.97), Full text; all drawings (Family: none)	3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search
21 April, 2003 (21.04.03)

Date of mailing of the international search report
06 May, 2003 (06.05.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/00401

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 1-276114 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 06 November, 1989 (06.11.89), Page 1, lower right column, line 19 to page 2, upper left column, line 1; page 2, upper left column, lines 14 to 19 (Family: none)	4, 8
Y	JP 2-96113 A (Sony Corp.), 06 April, 1990 (06.04.90), Fig. 3 (Family: none)	4, 8, 9
Y	WO 00/55666 A1 (TRUSTEES OF BOSTON UNIVERSITY), 21 September, 2000 (21.09.00), Full text; all drawings & JP 2002-539496 A & EP 1088250 A & CA 2328201 A & AU 3756300 A	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/00401

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

What is common to claims 1-18 is an optical switch driven by an actuator provided with a thin-film piezoelectric piece. However, the common feature is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, since such an optical switch makes no contribution over the prior art.

Claims 1-11 and 15-18 relate to an optical switch and an information transmission device using the optical switch, and claims 12-14 relate to a production method for an optical switch.

Accordingly, it is clear claims 1-11 and 15-18, and claims 12-14 do not fulfill the requirement of unity of invention.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-11, 15-18

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G 02 B 26 / 08, B 81 B 3 / 00, H 04 B 10 / 02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G 02 B 26 / 08, B 81 B 3 / 00, H 04 B 10 / 02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

J I C S T ファイル (J O I S)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P 2-94578 A (株式会社東芝) 1990. 04. 05, 第1図 (ファミリーなし)	1-6, 15, 16, 18 10, 11
Y A	J P 2000-19434 A (日本信号株式会社) 2000. 01. 21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6, 15, 16, 18 10, 11
Y	J P 9-90249 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997. 04. 04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21. 04. 03

国際調査報告の発送日

06.05.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2X

9412

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き). 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 1-276114 A (株式会社村田製作所) 1989. 11. 06, 第1頁右下欄第19行-第2頁左上欄第1 行、第2頁左上欄第14-19行 (ファミリーなし)	4, 8
Y	JP 2-96113 A (ソニー株式会社) 1990. 04. 06, 第3図 (ファミリーなし)	4, 8, 9
Y	WO 00/55666 A1 (TRUSTEES OF BOSTON UNIVERSITY) 2000. 09. 21全 文, 全図 & JP 2002-539496 A & EP 1088250 A & CA 2328201 A & AU 3756300 A	5

第 I 欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第 1 ページの 2 の続き)

法第 8 条第 3 項 (P C T 1 7 条 (2) (a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であって P C T 規則 6. 4 (a) の第 2 文及び第 3 文の規定に従って記載されていない。

第 II 欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第 1 ページの 3 の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1 - 1 8 に共通な事項は、薄膜圧電体を備えたアクチュエータにより駆動される光スイッチである。しかしながら、このような光スイッチは先行技術の域を出ないから、P C T 規則 1 3. 2 の第 2 文の意味において、この共通事項は特別な技術的事項ではない。
また、請求の範囲 1 - 1 1 および 1 5 - 1 8 は、光スイッチおよび該光スイッチを用いた情報伝達装置に関するものであり、請求の範囲 1 2 - 1 4 は、光スイッチの製造方法に関するものである。

よって、請求の範囲 1 - 1 1 および 1 5 - 1 8 と、請求の範囲 1 2 - 1 4 は、発明の単一性を満たさないことは明らかである

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1-11, 15-18

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。